

НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ УКРАЇНИ
«КИЇВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ
імені ІГОРЯ СІКОРСЬКОГО»
ФАКУЛЬТЕТ БІОМЕДИЧНОЇ ІНЖЕНЕРІЇ
(повна назва інституту/факультету)
КАФЕДРА БІОМЕДИЧНОЇ ІНЖЕНЕРІЇ
(повна назва кафедри)

«До захисту допущено»

В. о. завідувача кафедри

О. В. Лебедєв
(підпис) (ініціали, прізвище)

“ ” _____ 2019 р.

Дипломна робота
на здобуття ступеня бакалавра

з напрямку підготовки 6.051402 «Біомедична інженерія»
(код та назва спеціальності)

на тему: Прилад для дослідження механічних властивостей біоматеріалів

Виконав: студент IV курсу, групи БМ-51
(шифр групи)

Осіпов Роман Сергійович
(прізвище, ім'я, по батькові)

(підпис)

Керівник доц. каф. БМІ, к.т.н. Дубко А. Г.
(посада, науковий ступінь, вчене звання, прізвище та ініціали)

(підпис)

Консультант доц. каф. ОПШБ, к.т.н., доц. Демчук Г. В.
(посада, вчене звання, науковий ступінь, прізвище, ініціали)

(підпис)

Нормоконтролер інженер 1 категорії. Андрєєв П. І.
(посада, науковий ступінь, вчене звання, науковий ступінь, прізвище та ініціали)

(підпис)

Рецензент зав. каф. ББЗЛ, д.мед.н., проф. Худецький І. Ю
(посада, науковий ступінь, вчене звання, науковий ступінь, прізвище та ініціали)

(підпис)

Засвідчую, що у цій дипломній роботі
немає запозичень з праць інших авторів
без відповідних посилань.

Студент _____
(підпис)

Київ – 2019

Національний технічний університет України
«Київський політехнічний інститут
імені Ігоря Сікорського»

Факультет Біомедичної інженерії

Кафедра Біомедичної інженерії

Рівень вищої освіти Перший (бакалаврський)

Напрямок підготовки 6.051402 «Біомедична інженерія»

ЗАТВЕРДЖУЮ

В. о. завідувача кафедри

О. В. Лебедєв
(підпис) (ініціали, прізвище)

“ ” _____ 2019 р.

ЗАВДАННЯ

на дипломну роботу студенту

Осіпову Роману Сергійовичу
(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема «Прилад для дослідження механічних властивостей біоматеріалів»

керівник роботи Дубко Андрій Григорович к.т.н., с.н.с.

(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

затверджені наказом по університету від « 27 » травня 2019 р. №1404

2. Строк подання студентом роботи 10 червня 2019 р.

3. Вихідні дані до роботи: прилад для дослідження механічних властивостей біоматеріалів, програмне забезпечення приладу

4. Зміст дипломної роботи (перелік завдань, які потрібно виконати) огляд та аналіз літературних даних щодо дослідження механічних властивостей біоматеріалів і їх особливостей, пошук вже існуючих приладів, розробка структурної і функціональної схеми приладу, розробка та розрахунок електричної схеми приладу, макетування, розробка відповідного програмного забезпечення, проведення тестувань.

5. Перелік ілюстративного матеріалу презентація на 20 слайдів

6. Консультанти розділів роботи

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
3	доц. кафедри Охорони праці, промислової та цивільної безпеки, к.т.н. Демчук Г. В.		

7. Дата видачі завдання _____

Календарний план

№ з/п	Назва етапів виконання дипломної роботи	Строк виконання етапів роботи	Примітка
1	Аналіз літературних джерел		
2	Розробка практичної частини ДР		
3	Оформлення розділу з «Охорони праці».		
4	Оформлення ДР		
5	Отримання рецензії та відгуку		
6	Здача роботи на нормоконтроль		
7	Подання пакету документів по ДР до захисту ЕК		
8	Захист ДР		

Студент _____
(підпис)

Р. С. Осіпов _____
(ініціали, прізвище)

Керівник роботи _____
(підпис)

А. Г. Дубко _____
(ініціали, прізвище)

АНОТАЦІЯ

Тема роботи: «Прилад для дослідження механічних властивостей біоматеріалів».

Обсяг дипломної роботи становить 57 сторінок, міститься 20 ілюстрацій, 16 таблиць, 3 додатка. Загалом опрацьовано 29 джерел.

Актуальність: розробка даного приладу дозволить отримувати емпіричні дані про механічні властивості біологічних тканин для подальшого порівняння з існуючими нормами та побудови математичної моделі для конкретного суб'єкта дослідження. Також це дасть змогу судити про життєздатність біологічних тканин в конкретних досліджуваних умовах..

Мета: створення робочого макету приладу для дослідження механічних властивостей біоматеріалів.

Завдання: огляд та аналіз літературних даних щодо дослідження механічних властивостей біоматеріалів і їх особливостей; пошук вже існуючих приладів, що виконують аналогічну функцію і аналіз інженерних рішень, які були використані при їх створенні; розробка функціональної схеми приладу; макетування; розробка відповідного програмного забезпечення для налагодження роботи самого приладу і для аналізу і виведення на інтерфейс отриманих з нього даних; проведення тестувань.

Основні результати: зроблено огляд літератури, проведено патентний пошук аналогів, створено функціональну схему, виконано підбір та огляд компонентів установки, проведено моделювання її роботи, виготовлено макет приладу, проведено його випробування.

Ключові слова: коефіцієнт Пуассона, модуль Юнга, діаграма деформації.

ABSTRACT

Theme of work: «Device for studying the mechanical properties of biomaterials»

The volume of the graduation work is 57 pages, contains 20 illustrations, 16 tables, 3 appendixes. In total, 29 sources have been processed.

Relevance: the development of this device will allow obtaining empirical data on the mechanical properties of biological tissues for further comparison with existing norms and the building of a mathematical model for a particular subject of the study. It will also make it possible to judge the viability of biological tissues under specific conditions.

Purpose: to create a working model of the device for studying the mechanical properties of biomaterials.

The task: review and analysis of literature data on the study of mechanical properties of biomaterials and their features; search for existing devices that perform a similar function and analyze engineering solutions that were used when they were created; development of functional scheme of the device; modeling; development of the appropriate software for adjusting the work of the device itself and for analysis and outputting to the interface data received from it; testing.

Main results: literature data about mechanical properties of biomaterials was reviewed, executed patents search, functional scheme of device was created, a selection and description of its components was made, a simulation of device was performed, model of device was manufactured and tested.

Keywords: Poisson coefficient, Young's modulus, deformation diagram.

ЗМІСТ

СПИСОК УМОВНИХ СКОРОЧЕНЬ.....	8
РОЗДІЛ 1 ТЕОРЕТИЧНА ЧАСТИНА	11
1.1 Теоретичні основи виміру пружної деформації	11
1.2 Огляд існуючих аналогів приладів.....	14
Висновок до розділу 1.....	17
РОЗДІЛ 2 ПРАКТИЧНА ЧАСТИНА	18
2.1 Структурна схема установки для визначення механічних властивостей біологічних тканин.....	18
2.1.1 Розробка структурної схеми	18
2.1.2 Елементи структурної схеми	19
2.2 Моделювання випробування біоматеріалу на стиск	23
2.3 Елементна база установки	25
2.4 Розробка робочого макету	30
2.5 Програмне забезпечення для розробленої установки	33
Висновок до розділу 2.....	36
РОЗДІЛ 3 ОХОРОНА ПРАЦІ.....	37
3.1 Характеристики об'єкту та його складові частини	37
3.1.1 Характеристики об'єкту.....	37
3.1.2 Складові частини системи	38
3.1.3 Характер взаємодії в системі «людина-об'єкт».....	39
3.2 Оцінка потенційних небезпечних факторів, що створюються конструкцією системи та заходи їх усунення.....	40
3.2.1 Механічна безпека.....	40
3.2.2 Безпека враження людини електричним струмом	41

					БМ51.15.2705.1404.ПЗ								
Вим	Лист	№ докум.	Підпис	Дата	Прилад для дослідження механічних властивостей біоматеріалів				Лім.	Лист	Листи		
Розробив	Осіпов Р. С.											6	57
Перевірів	Дубко А.І.												
Реценз.	Худецький І. Ю.												
Н. Контр.	Андреев П. І.												
Затвердив	Лебедев О.В.												
					НТУУ «КПІ ім. І. Сікорського», ФБМІ								

3.2.3 Небезпека пожежі.....	43
3.3 Розробка «Інструкції по техніці безпеки при експлуатації спроектованого об'єкту»	44
Висновок до розділу 3.....	45
ВИСНОВКИ	46
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ	48
ДОДАТОК А ЛІСТИНГ ПРОГРАМИ ДЛЯ КАЛІБРУВАННЯ ТЕНЗОДАТЧИКА	52
ДОДАТОК Б ЛІСТИНГ ПРОГРАМИ ДЛЯ ЗНЯТТЯ ПОКАЗАНЬ ТЕНЗОДАТЧИКА	54
ДОДАТОК В ПРОГРАМНИЙ ПРОДУКТ, В ЯКОМУ РЕАЛІЗОВАНО ІНТЕРФЕЙС КОРИСТУВАЧА І ОБРОБКА ДАНИХ	57

СПИСОК УМОВНИХ СКОРОЧЕНЬ

АЦП – аналого-цифровий перетворювач

МК – мікроконтролер

ПП – програмний продукт

NI LabView – National Instruments Laboratory Virtual Instrumentation
Engineering Workbench

SW – SolidWorks

					БМ51.15.2705.1404.ПЗ	Лист
						8
Змін.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

ВСТУП

Реакції тканин організму на механічні фактори визначаються їх механічними властивостями, які обумовлені просторово-тимчасовим розподілом часток тканин, а також типом зв'язків між ними. Основними параметрами механічних властивостей тканин є напруга і деформація. Напруга на відміну від параметрів зовнішнього силового впливу відображає внутрішні механічні обурення, що розвиваються в тканинах при дії на них механічних сил.

Матеріалознавство розвивається в бік все більш складних композитних матеріалів. З точки зору матеріалознавства необхідно зрозуміти, яка структура і механічні властивості біологічних матеріалів.

Біологічні тканини з точки зору матеріалознавства можна віднести до композитних матеріалів, що містять тверді речовини і рідини як компоненти.

Отже, анізотропія і неоднорідність більшості біологічних тканин істотно ускладнюють можливість подання в аналітичній формі параметрів механічних властивостей тканин організму. Разом з тим в діапазоні фізіологічних деформацій їх залежність від прикладених напружень лінійна.

Актуальність теми полягає в тому, що розробка даного приладу дозволить отримувати емпіричні дані про механічні властивості біологічних тканин для подальшого порівняння з існуючими нормами та побудови математичної моделі для конкретного суб'єкта дослідження, також це дасть змогу судити про життєздатність біологічних тканин в конкретних досліджуваних умовах.

Метою дипломної роботи є: створення робочого макету приладу та програмного забезпечення для дослідження механічних властивостей біоматеріалів.

Для досягнення мети були поставлені наступні задачі:

					БМ51.15.2705.1404.ПЗ	Лист
						9
Змін.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

- огляд та аналіз літературних даних щодо дослідження механічних властивостей біоматеріалів і їх особливостей;
- пошук вже існуючих приладів, що виконують аналогічну функцію і аналіз інженерних рішень, які були використані при їх створенні;
- розробка структурної і функціональної схеми приладу;
- розробка та розрахунок електричної схеми приладу;
- макетування;
- розробка відповідного програмного забезпечення для налагодження роботи самого приладу і для аналізу і виведення на інтерфейс отриманих з нього даних;
- проведення випробувань виготовленого приладу.

					БМ51.15.2705.1404.ПЗ	Лист
Змін.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		10

РОЗДІЛ 1

ТЕОРЕТИЧНА ЧАСТИНА

1.1 Теоретичні основи виміру пружної деформації

Запланований прилад буде стискати зразок і відстежувати відношення зусиллях та деформації. На основі цих даних буде будуватись діаграма деформації і розраховано модуль Юнга та коефіцієнт Пуассона. Тож, перш за все, варто розглянути відповідну теорію.

Деформація – це зміна форми і розмірів твердих тіл під дією зовнішніх сил.

Пластична деформація – це деформація, яка зберігається в тілі після припинення дії зовнішніх сил.

Пружна деформація – це деформація, за якої тіло набуває первинних розмірів і форми після припинення дії зовнішніх сил [1].

Отримання діаграми деформації дозволяє визначити ряд найважливіших характерних точок і відповідних їм величин:

- границя пропорційності($\sigma_{\text{проп}}$) – найбільша напруга, при якій ще виконується закон Гука (1.1);
- границя пружності($\sigma_{\text{пр}}$) – найбільша напруга, при якій немає залишкових деформацій;
- границя текучості($\sigma_{\text{тек}}$) – найбільша напруга, при якій відбувається зростання деформації без помітного збільшення напруги;
- границя міцності($\sigma_{\text{міцн}}$) – найбільша напруга, яку може витримати зразок [2].

Закон Гука (для лінійної деформації):

$$F = - k\Delta l, \quad (1.1)$$

					БМ51.15.2705.1404.ПЗ	Лист
Змін.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		11

де F – сила пружності,

Δl – різниця між початковою довжиною зразка і кінцевою,

k – коефіцієнт жорсткості.

Формула для коефіцієнта жорсткості:

$$k = E * \frac{S}{l}, \quad (1.2)$$

де S – площа досліджуваного зразка,

l – довжина досліджуваного зразка,

E – модуль Юнга.

Для зразків біологічних тканин поперечний переріз зазвичай не постійний, і відповідно, напруга по різному розподіляється по довжині зразка. Крім того, при стисненні зразка площа його поперечного перерізу змінюється [3].



Рис.1.1 Типова діаграма деформації для зразків з еластину, м'язових волокон, стінки судини [4]

Для таких зразків, як еластин, м'яз, стінка судини жорсткість при стисненні різко збільшується (рис.1.1). Такий характер спостерігається аж до руйнування зразка. Зона текучості на таких діаграмах проявляється слабо.

Діаграми деформацій, отримані в діапазоні фізіологічних змін довжин, як правило, нелінійні. В цьому випадку модуль Юнга E , як характеристика пружних властивостей, може використовуватися тільки в діапазоні дуже малих деформацій, для яких можна вважати справедливим закон Гука.

В фізіологічному діапазоні зміни довжин, як правило, користуються приведеним модулем Юнга ($E_{\text{пр}}$), який є усередненою характеристикою пружних властивостей зразка [4,5,6]:

$$E_{\text{пр}} = \frac{\sum_i E_i}{n}, \quad (1.3)$$

де E_i — ефективний або тангенціальний модуль Юнга (1.4).

$$E_i = \frac{\Delta \sigma_i}{\Delta \varepsilon_i} = \frac{\sigma_{i+1} - \sigma_i}{\varepsilon_{i+1} - \varepsilon_i}, \quad (1.4)$$

Еластичність E (1.5) біологічної тканини — фізична величина, яка характеризує зміну абсолютної деформації (Δx) цієї тканини до механічного навантаження і яка показує, на скільки відсотків зміниться ця деформація у разі зміни навантаження на 1 % (ΔF) [1]:

$$E = \Delta x / \Delta F \quad (1.5)$$

Коефіцієнт Пуассона μ (1.6) - одна з фізичних характеристик матеріалу пружного тіла, рівна відношенню абсолютних значень відносної поперечної деформації ($\frac{\Delta d}{d}$) елементу тіла до його відносної подовжньої деформації ($\frac{\Delta l}{l}$) [7,8]. Коефіцієнт Пуассона стабільного, ізотропного, лінійного еластичного матеріалу повинен бути в межах від -1.0 до +0.5. Більшість матеріалів мають значення в інтервалі між 0,0 і 0,5.

					БМ51.15.2705.1404.ПЗ	Лист
Змін.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		13

$$\mu = \frac{\Delta d}{d} \frac{l}{\Delta l}, \quad (1.6)$$

Можливі два типи механічних випробувань зразка, які взаємопов'язані функціонально. Так, можна застосовуючи зусилля, яке значно перевершує жорсткість матеріалу, задавати деформацію зразка і реєструвати розвивається напруження. Цей тип випробувань найбільш поширений в біомеханіці. Або навпаки, задаючи постійне напруження в зразку, наприклад, навантажуючи зразок постійним вантажем, можна реєструвати яка саме деформація в ньому відбувається.

1.2 Огляд існуючих аналогів приладів

Зазвичай деталі подібних розробок не розголошують. Винятком є науково-дослідна установка показана на рис.1.2.

Основні елементи установки:

- кроковий двигун;
- індуктивний датчик переміщення;
- тензодатчик;
- індентор.

Використовуваний в дослідженнях індентор був плоским, діаметром 3 мм. Він з'єднувався з 1 Н тензодатчиком (LSB200, Futek Advanced Sensor Technology Inc., Irvine, CA, США) і приводився в рух лінійним кроковим двигуном з точністю 0,03 мм (UBL23, Saia-Burgess Inc., OH, USA).), який, у свою чергу, був приєднаний до індуктивного датчика переміщення (DC15, Salartron Metrology Ltd, Leicester, UK) за допомогою спеціально виготовленого пристрою.

					БМ51.15.2705.1404.ПЗ	Лист
Змін.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		14

Вся система була керована комп'ютером через користувацький інтерфейс програмного забезпечення, розробленого за допомогою LabWindows / CVI 8.5 (National Instruments Co., TX, USA) [9].

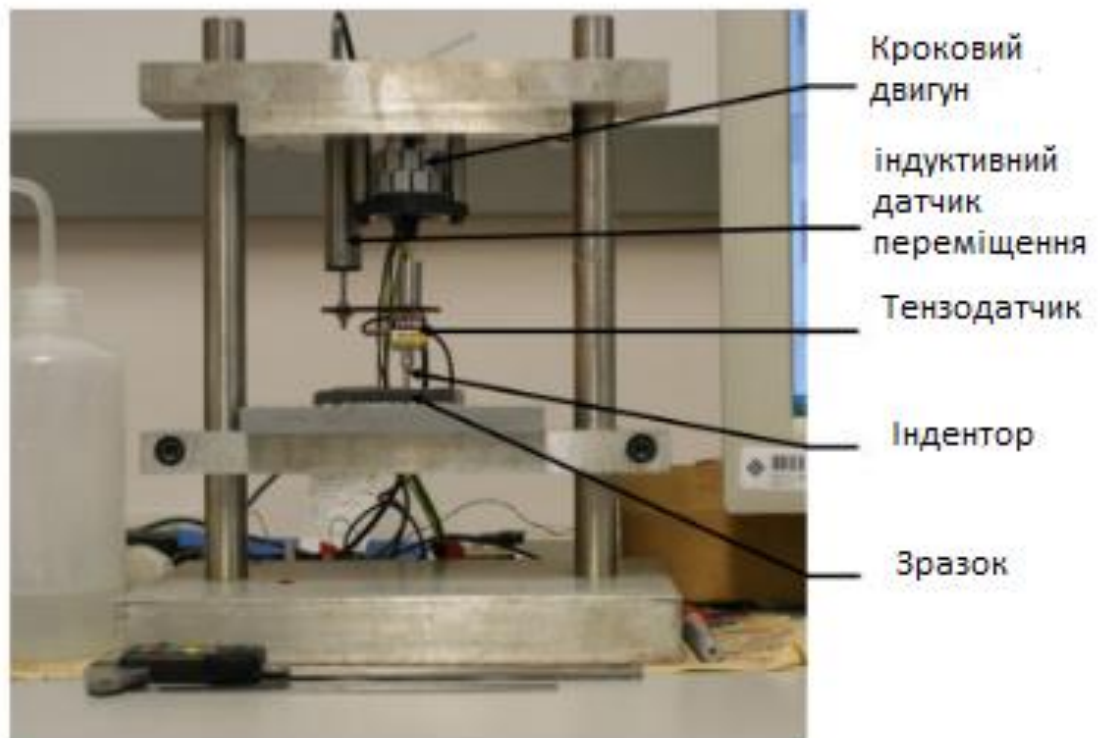


Рис.1.2 - Установка для дослідження механічних властивостей біологічних тканин[9]

В ході даного дослідження зразки матеріалу поміщали на горизонтальну платформу, змочену тонким шаром фізіологічного сольового розчину, який забезпечував змащування і запобігав зневодненню зразка. Товщину кожного зразка вимірювали за допомогою цифрового апаратного засобу і обережно зберігали мінімальне стиснення під час вимірювання. Платформу регулювали вертикально так, щоб початкове положення індентора було трохи вище зразка. Випробування на деформацію складалося з 5 циклів завантаження і розвантаження. Його проводили з кроком індентора приблизно 0,5 мм. Максимальна глибина деформації була встановлена

приблизно в 20% від початкової товщини зрізу. Для даного зрізу кількість випробуваних точок залежала від розміру поперечного перерізу.

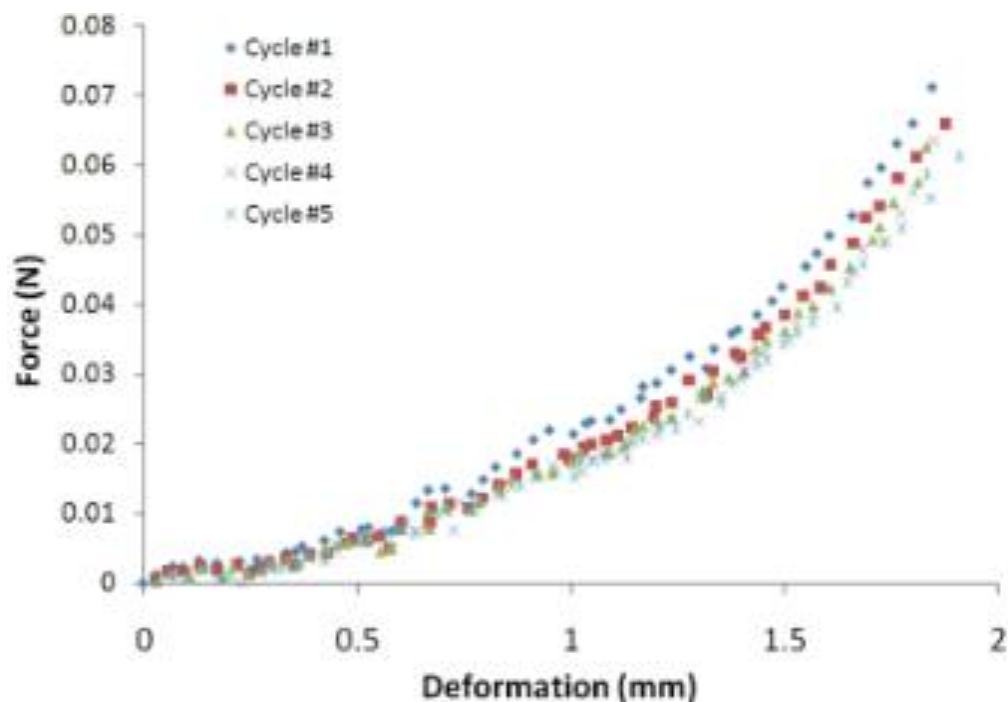


Рис.1.3 - Діаграма деформації п'яти циклів досліджень[9]

Отримані дані були використані для побудови діаграми деформації (рис.1.3) для п'яти циклів досліджень одного і того ж зразка.

Для розрахунку модуля Юнга при проведенні даного дослідження використовувалась модель запропонована Хейсом (1.7) [10].

$$E = \frac{1-\nu^2}{2*a*k(\nu,a/h)} * \frac{P}{w}, \quad (1.7)$$

де E – модуль Юнга тканини,
 a – радіус індентора,
 ν – коефіцієнт Пуассона тканини,
 h – початкова товщина досліджуваного зразка,
 k – поправочний коефіцієнт, пов'язаний з ν ,
 a – співвідношення сторін a / h ,

					БМ51.15.2705.1404.ПЗ	Лист
Змін.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		16

P / w –співвідношення між силою і глибиною вдавнення.

Висновок до розділу 1

Під час аналізу літературних даних було визначено, які дані в кінцевому результаті планується отримувати за допомогою розробленого приладу:

- модуль Юнга;
- коефіцієнт Пуассона (при відомій початковій площі зразка, буде необхідно вручну вимірювати кінцеву);
- границі пропорційності, пружності, текучості, міцності;
- діаграма деформації.

На основі цих даних дослідник зможе судити про життєздатність тих чи інших тканин в конкретних досліджуваних умовах, наприклад після зварювання.

Були надані визначення ключових понять і основні формули на основі яких в подальшому будуть проводитись розрахунки (1.3 та 1.6). Було розглянуто будову аналогу установки та виділені її основні елементи.

					БМ51.15.2705.1404.ПЗ	Лист
Змін.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		17

РОЗДІЛ 2

ПРАКТИЧНА ЧАСТИНА

2.1 Структурна схема установки для визначення механічних властивостей біологічних тканин

2.1.1 Розробка структурної схеми

Для вирішення поставленого завдання процес роботи розподілений на три основні частини: структурну, функціонально-логічну та технічну.

При проектуванні пристрою на структурному етапі досліджуються принципи побудови подібних пристроїв, їх структура розбивається на взаємопов'язані блоки, проводиться дослідження кожної складової окремо.

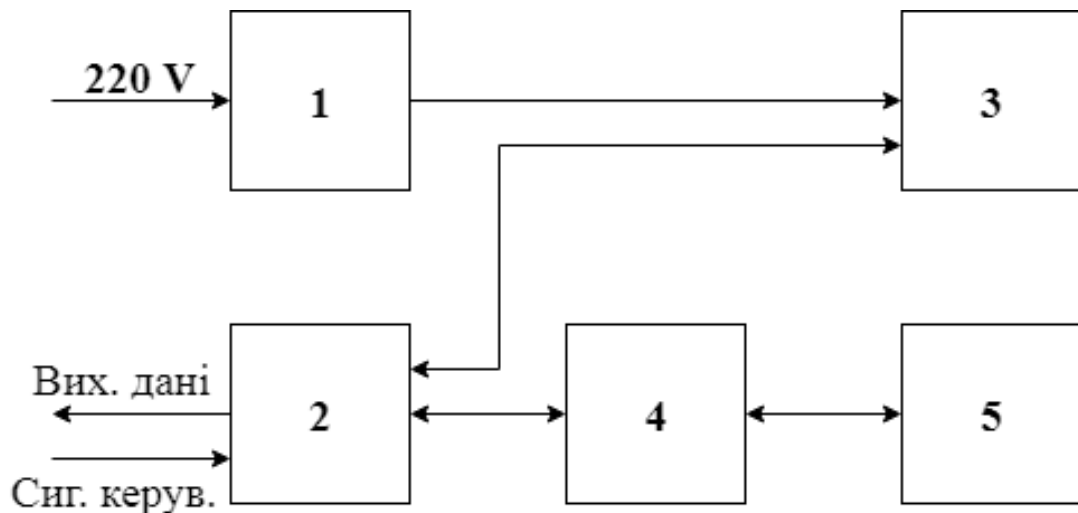


Рис.2.1 – Структурна схема приладу для дослідження механічних властивостей біоматеріалів: 1 – блок живлення, 2 – мікроконтролер (МК), 3 – сервопривід, 4 – АЦП, 5 – тензодатчик.

При створенні структурної схеми установки (рис.2.1) було проаналізовано будову і інженерні рішення використані в розглянутих джерелах [9,11].

В створеній схемі (рис.2.1), на відміну від розглянутої в попередньому розділі (рис.1.2), замість крокового двигуна і індуктивного датчика переміщення використовується сервопривід.

2.1.2 Елементи структурної схеми

Існує безліч способів вимірювання деформацій відповідно до використовуваних принципів перетворення: тензорезистивних, оптико-поляризаційний, п'єзорезистивних, волоконно-оптичний, або простим зчитуванням показань з лінійки механічного тензодатчика [12]. Найбільш доступними є тензометричні датчики (рис.2.2).

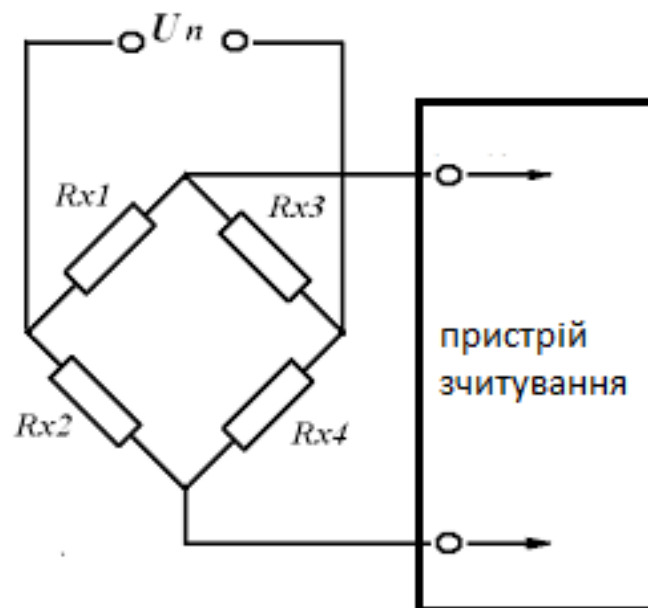


Рис.2.2 – Тензодатчик (електрична схема)

Тензодатчики (тензометричні датчики) представляють собою пружний елемент на якому зафіксований тензорезистор, під дією сили (ваги вантажу) відбувається деформація пружного елемента разом з тензорезистором.

По зміні опору тензорезистора можна обчислити степінь деформації, яка буде пропорційна силі, яка додається до конструкції [13].

Принцип вимірювання зусилля за допомогою тензодатчиків заснований на компенсації маси вантажу, що зважується і пружної механічної сили тензодатчиків. В подальшому ця сила перетворюється в електричний сигнал (рис.2.2). Опір провідника:

$$R = \rho * l/S, \quad (2.1)$$

де ρ – щільність провідника;
 l – довжина провідника;
 S – площа поперечного перерізу.

Датчик складається з металевої (як правило, алюмінієвої або сталевий) балки і наклеєного на неї тензорезистора (рис.2.2), опір якого змінюється пропорційно деформації балки (рис.2.3) [13]. Ваги на базі тензодатчика також вимагають АЦП для перетворення сигналу. Перевагою тензодатчика є простота і низька вартість [14].

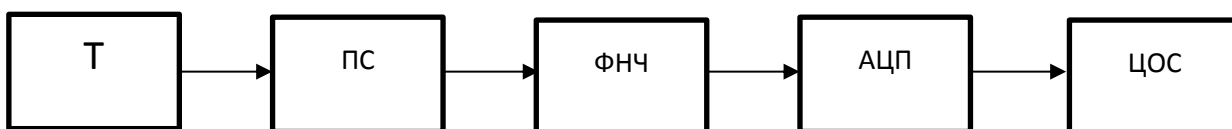


Рис.2.3 – Структурна схема блоку вимірювання зусилля [15,16] (Т – тензодатчик, ПС – підсилювач сигналу, ФНЧ – фільтр нижніх частот, АЦП – аналого-цифровий перетворювач, ЦОС – цифрова обробка сигналу).

Для реалізації проектного приладу необхідно відстежувати деформацію зразка, а також чинити на нього тиск в декілька МПа. Орієнтуючись на ці вимоги, варто шукати двигун зі зворотнім зв'язком і необхідним моментом сили. Для цих цілей підходить сервопривід.

Сервопривід – це пристрій з електродвигуном, який дозволяє досягти точного керування руху моделі шляхом негативного зворотного зв'язку[17]. І хоча сила з якою сервопривід може тиснути на досліджуваний зразок не буде надлишковою, але питання недостатності тиску можна обійти зменшивши розміри зразка.

Будь-який сервопривід у своїй будові (рис.2.4) має датчик та блок керування, який підтримує певні значення на датчику відповідно до зовнішнього параметру.

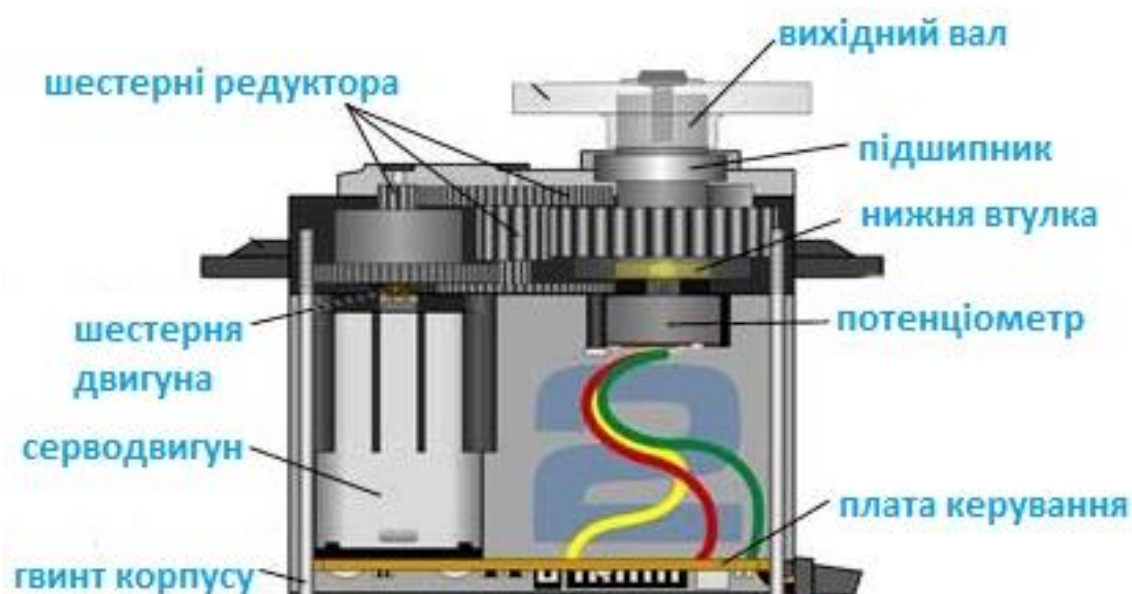


Рис.2.4 – Будова сервоприводу[16]

Принцип роботи сервоприводу:

1. Сервопривід отримує імпульсний сигнал (рис.2.5) — керуюче значення, яке визначає кут повороту качалки сервоприводу.
2. Блок керування починає порівняння параметру, що надійшов, зі значенням на своєму датчику (потенціометр).
3. В залежності від результату порівняння блок керування повертає сигнал, який зумовлює, яку дію необхідно виконати: повернути, прискоритись чи сповільнитися, щоб порівнювані показники стали однаковими.

					БМ51.15.2705.1404.ПЗ	Лист
Змін.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		21

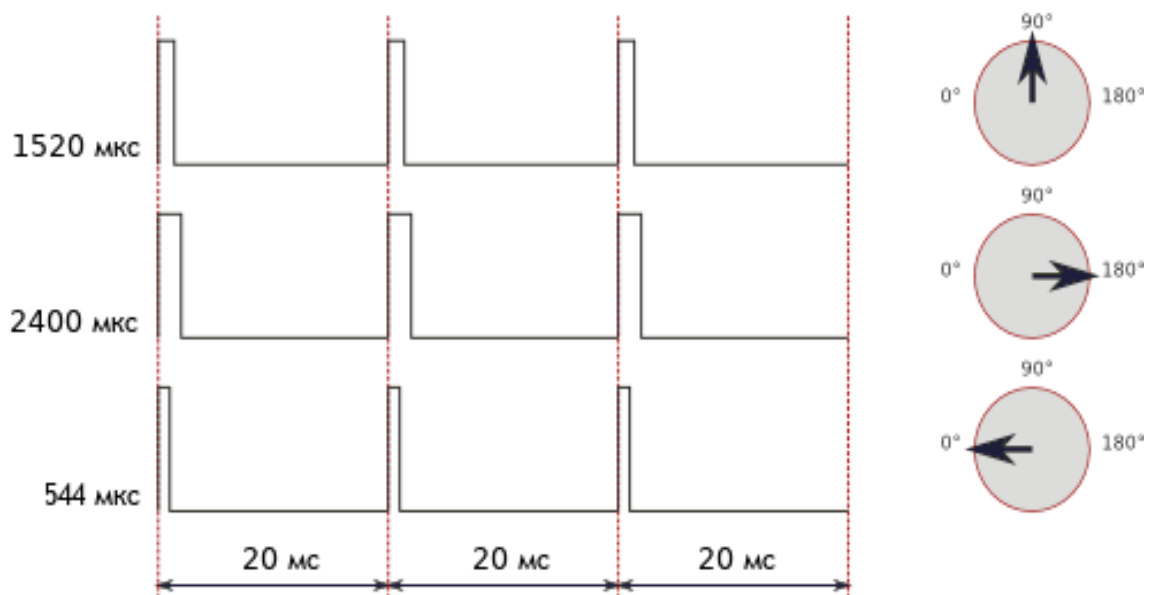


Рис.2.5 – Керуючий сигнал сервоприводу.

Мікроконтролер (МК) – це мікроелектронний спеціалізований програмований прилад.

Особливості в порівнянні зі звичайними процесорами:

- вбудована пам'ять програм та пам'ять даних;
- бітовий процесор;
- таймери, лічильники;
- порти, інтерфейси;

Основне призначення МК – використання у якості керуючого блоку у пристроях, системах опрацювання даних та системах керування технологічними процесами. Також великою перевагою МК є його доступність та самодостатність: у складі мікросхеми контролера є усі елементи для побудови системи керування. Система керування на основі мікроконтролера може складатися лише з блока живлення, мікросхеми контролера та пасивних елементів (резисторів, конденсаторів та кварцового резонатора).

2.2 Моделювання випробування біоматеріалу на стиск

Побудова геометричної моделі досліджуваного об'єкта або системи - один з перших етапів чисельного рішення будь-якої фізичної задачі.

Було вирішено провести моделювання стиску біоматеріалу за допомогою програмного забезпечення COMSOL 5.2 (рис.2.6), з використанням реальних параметрів матеріалів (модуля Юнга та коефіцієнта Пуассона м'язової тканини) [18, 19].

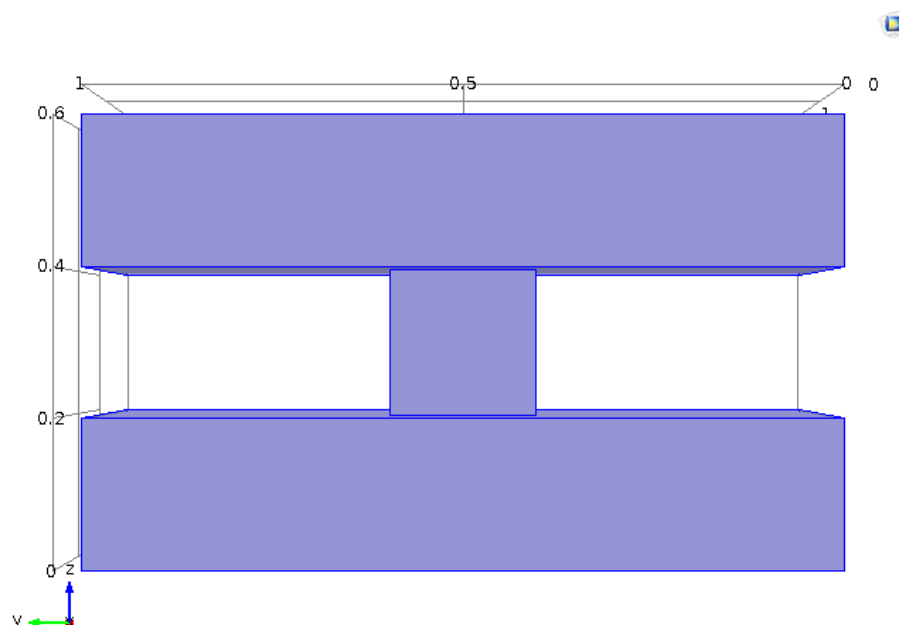


Рис.2.6 – Створена в COMSOL модель

На рисунку 2.6 показана створена в середовищі COMSOL модель. В якості піддослідного зразка обрано куб м'язової тканини з довжиною грані 2 мм і характеристиками:

- Коефіцієнт Пуассона – 0,45;
- Модуль Юнга – $9 \cdot 10^5$ Па;
- Щільність – 1090 кг/м^3 [20].

					БМ51.15.2705.1404.ПЗ	Лист
Змін.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		23

Стиск відбувається між двома однаковими платформами. Оскільки важливо щоб платформи під час моделювання не деформувалися і не вносили похибку в результати було вирішено задати їм характеристики, відповідні сталі AISI 4340:

- Коефіцієнт Пуассона – 0,28;
- Модуль Юнга – $205 \cdot 10^9 \text{ Па}$;
- Щільність – 7850 кг/м^3 [21].

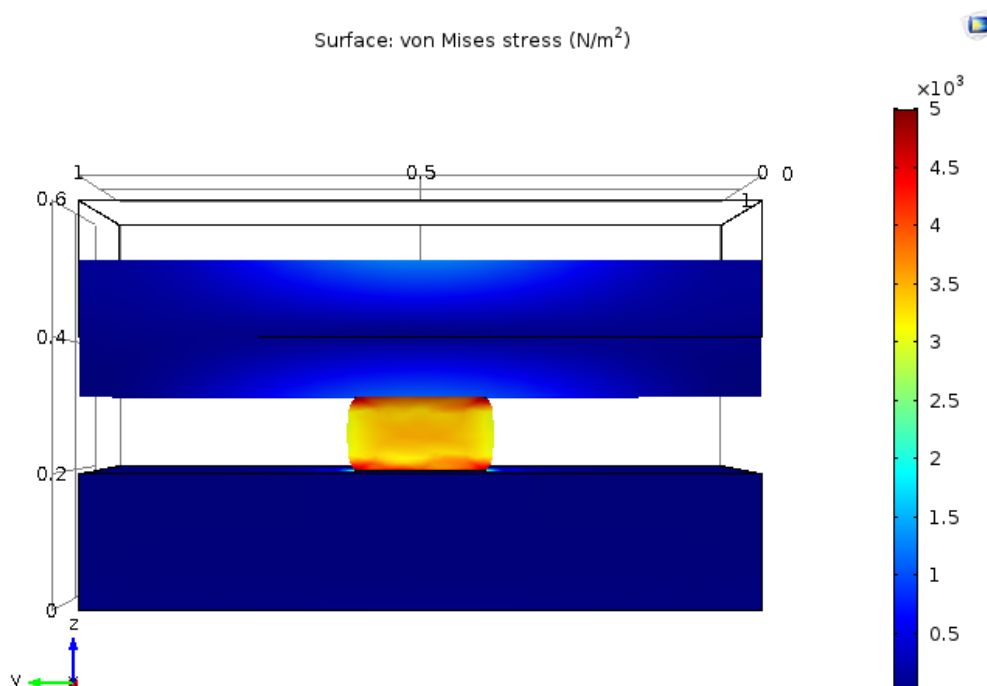


Рис.2.7 – Моделювання стиску біоматеріалу

Результати, представлені на рисунку 2.7, дозволили визначити ключові параметри установки:

- момент сили сервоприводу (зразок помітно деформувався при діючій на нього силі у 150 Н, тож сервопривід має чинити таке зусилля або більше);
- максимальне зусилля на яке має бути розрахований тензодатчик (відповідно до параметрів сервоприводу, але не менш, ніж 150 Н);

- дискретність сервоприводу (максимальна деформація по нормалі до зрізу склала приблизно 1 мм, тож було вирішено взяти за мінімальний розмір відліку - 0,05 мм).

2.3 Елементна база установки

Перш за все варто було обрати сервопривід, адже від цього вибору залежить подальша елементна база.

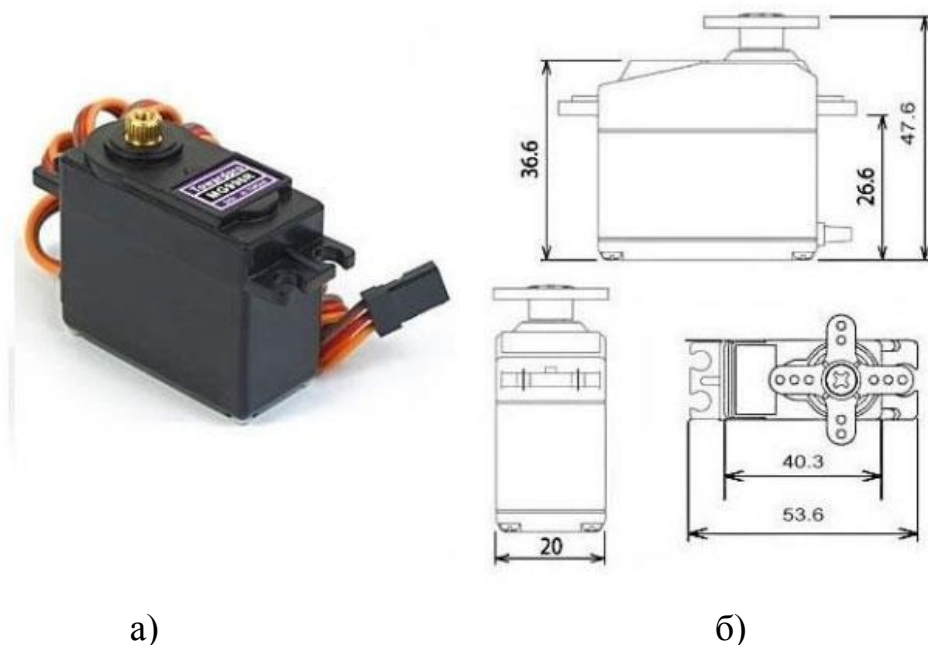


Рис.2.8 – Сервопривід MG996R: а) загальний вигляд; б) габаритні розміри

Ідеально по співвідношенню параметрів і вартості підійшов сервопривід MG996R (рис.2.8) з параметрами представленими в табл.2.1. Його зубчасте колесо має радіус 3 мм, а отже довжина дуги яку він прокручує буде дорівнювати третині периметра (≈ 6.28 мм), так як кут повороту всього 120 градусів. Мінімальний крок що відповідає 1 градусу повороту – 0.052 мм. Також, варто додати, що всі механічні деталі

					БМ51.15.2705.1404.ПЗ	Лист
Змін.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		25

сервоприводу MG996R виготовлені з металу, що в умовах високого тиску всередині системи, суттєво підвищить строк експлуатації.

Таблиця 2.1 – Характеристики системи

Розміри, мм	40x19x43
крутний момент, кг / см	15
робоча напруга живлення	4.8-7.2 В
струм живлення, А	0.5-2.5
максимальний кут повороту, град	120

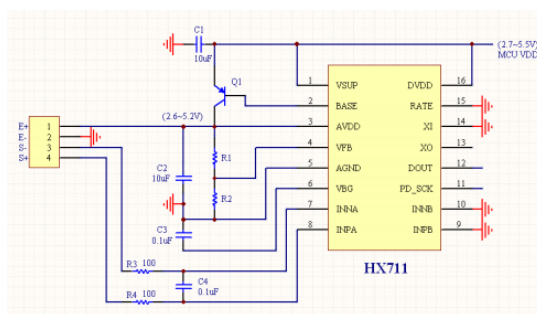
Далі було обрано тензодатчик з параметрами представленими в табл.2.2 і аналогово-цифровий перетворювач HX711 (рис.2.9) для нього з параметрами представленими в табл.2.3.

Таблиця 2.2 – Технічні параметри тензодатчика

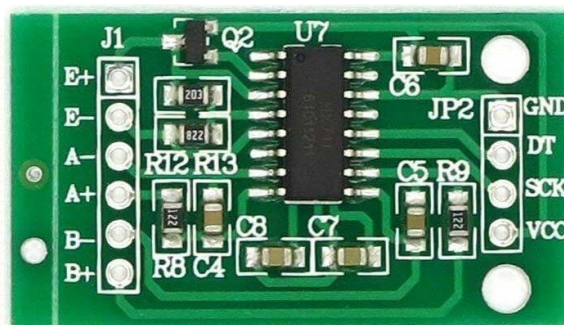
Розміри, мм	80x12.7x12.7мм
Матеріал	Алюміній
Комплексна похибка, %	0,2
Імпеданс, Ω	1000 ± 50
Рекомендована напруга, В	5-10
Максимальна вага вимірювання, кг	до 20 (приблизно 200 Н)

Тензодатчик було обрано з невеликим запасом. Максимальне питоме навантаження на датчик було визначено як суму ваги платформи для розміщення зразка, можливої ваги зразка і динамічного навантаження.

Заснований на технології Avia Semiconductor, HX711 є точним 24-бітним аналого-цифровим перетворювачем (ADC), призначеним для вагових ваг та промислових приладів керування для безпосереднього взаємодії з датчиком.



а)



б)

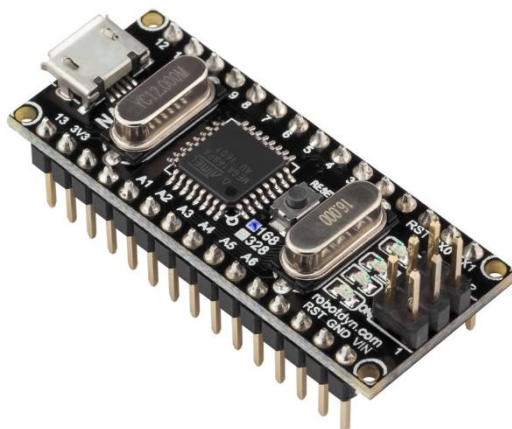
Рис.2.9 – Аналогово-цифровий перетворювач HX711: а) електрична схема; б) загальний вигляд

Таблиця 2.3 – Технічні параметри АЦП HX711

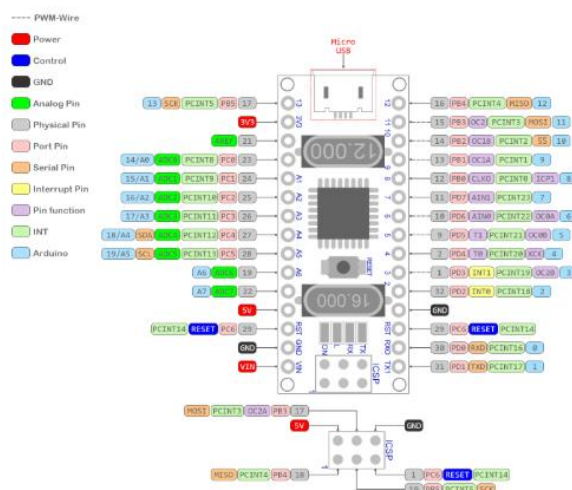
Диференціальний вхід з напругою, мВ	± 40
Точність перетворення, біт	24
Частота оновлення, Гц	80
Робоча напруга, В	5
Робочий струм, мА	10
Розмір, мм	38 x 21 x 10

Для керування установкою і отримання з неї даних було обрано доступний і достатньо функціональний мікроконтролер RobotDyn Arduino Nano V3 CH340G (рис.2.10). Характеристики даного МК (табл.2.4) цілком задовольняють поставленим вимогам та має ряд суттєвих переваг над аналогічними контролерами:

- автоматично знімається запобіжник, який захищає USB-порт комп'ютера і Nano V3 від збою і статистичних токів;
- кварцові резонатори більш надійні, стабільні і точні по порівнянню з невеликими керамічними;
- Micro USB є більш зручним і поширеним, ніж Mini USB-кабель.



а)



б)

Рис.2.10 – МК RobotDyn Arduino Nano: а) загальний вигляд; б) схема підключень

Варто відмітити, що по технічним параметрам даний МК навіть є дещо надлишковим для створюваного приладу, проте в процесі відпрацювання технології варто враховувати необхідний запас потужностей.

Таблиця 2.4 – Технічні параметри Arduino Nano V3 CH340G

Аналогові вхідні контакти	8
Цифрові контакти вводу / виводу	14
Робоча частота, МГц	16
Флеш-пам'ять, КБ	32
Робоча напруга, В	5
Робочий струм, мА	40
Вхідна напруга, В	7-12

Аналогічно з запасом було обрано блок живлення RS-15-5 представлений на рисунку 2.11.



Рис.2.11 – Блок живлення RS-15-5

Дане джерело живлення добре поєднує в собі високі електричні параметри (табл.2.5) при невеликих розмірах. Володіє високим ККД до 91,5% і малою потужністю споживання без навантаження менше 0,5 Вт.

Таблиця 2.5 – Технічні параметри RS-15-5

Температурний режим	-20...70
Вихідна напруга, В	5
Струм навантаження, А	3
Вхідна напруга, В	88...264
Захист	від короткого замикання перевантаження перепаду температур перепаду напруги живлення

Блок живлення було обрано відповідно до потреб сервоприводу і з урахуванням якомога більшого рівня захисту. Також варто відмітити деякі важливі особливості обраного блока живлення:

- широкий діапазон вхідної напруги;
- регулювання вихідної напруги;
- охолодження природною конвекцією;
- індикація включення.

2.4 Розробка робочого макету

На основі розмірів і технічних особливостей елементів установки було розроблені спеціальні деталі в програмному середовищі SolidWorks 2018 [22]. Деталі розроблялись для 3D друку і подальшого збору конструкції робочого макету установки.

В якості матеріалу для деталей робочого макету було обрано АБС пластик.

Пластик АБС - це сучасний синтетичний полімер жовтуватого кольору, що володіє високим ступенем ударостійкості. Завдяки своїм технічним характеристикам знайшов широке застосування в якості інженерного і конструкційного матеріалу [23].

Матеріал володіє такими характеристиками:

- високі показники зносостійкості і міцності в поєднанні з еластичністю;
- довговічність за умови експлуатації без впливу ультрафіолетових променів;
- висока опірність впливу м'яких засобів і лужних складів;
- стійкість до впливу вологи, кислот і масел;
- в нормальних умовах матеріал не токсичний;
- може експлуатуватися при температурах від -40 °С до +90 °С зі збереженням технічних характеристик.

Деталі розроблялись для 3D друку і подальшого збору конструкції робочого макету установки.

Загалом для того щоб зібрати робочий макет знадобилось розробити і надрукувати 8 деталей, деякі з них показані на рисунках 2.12, 2.13.

					БМ51.15.2705.1404.ПЗ	Лист
						30
Змін.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

Кріплення для сервопривода (рис.2.12) розроблялося з урахуванням розмірів самого сервопривода та направляючої. Для кращої фіксації між сервоприводом і кріпленням розміщується гумова прокладка.

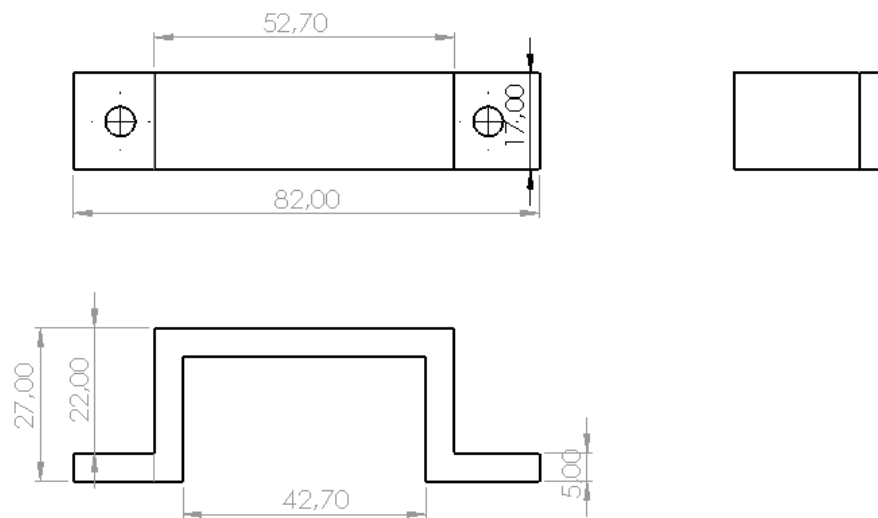


Рис.2.12 – Кріплення сервоприводу на направляючій

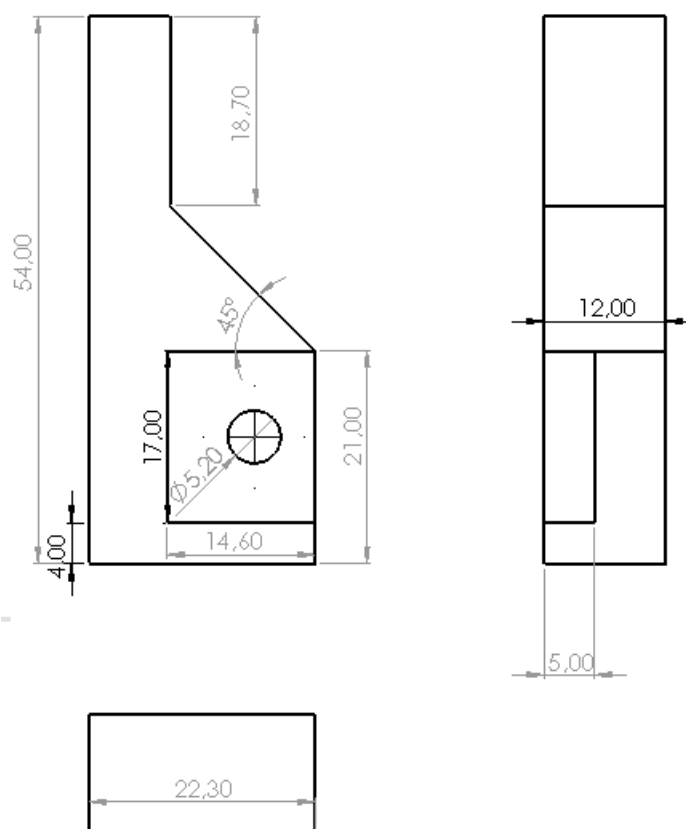


Рис.2.13 – Індентор

Загальний вигляд установки, після того як всі деталі було роздруковано і зібрано, показаний на рисунку 2.14.

					БМ51.15.2705.1404.ПЗ	Лист
Змін.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		31

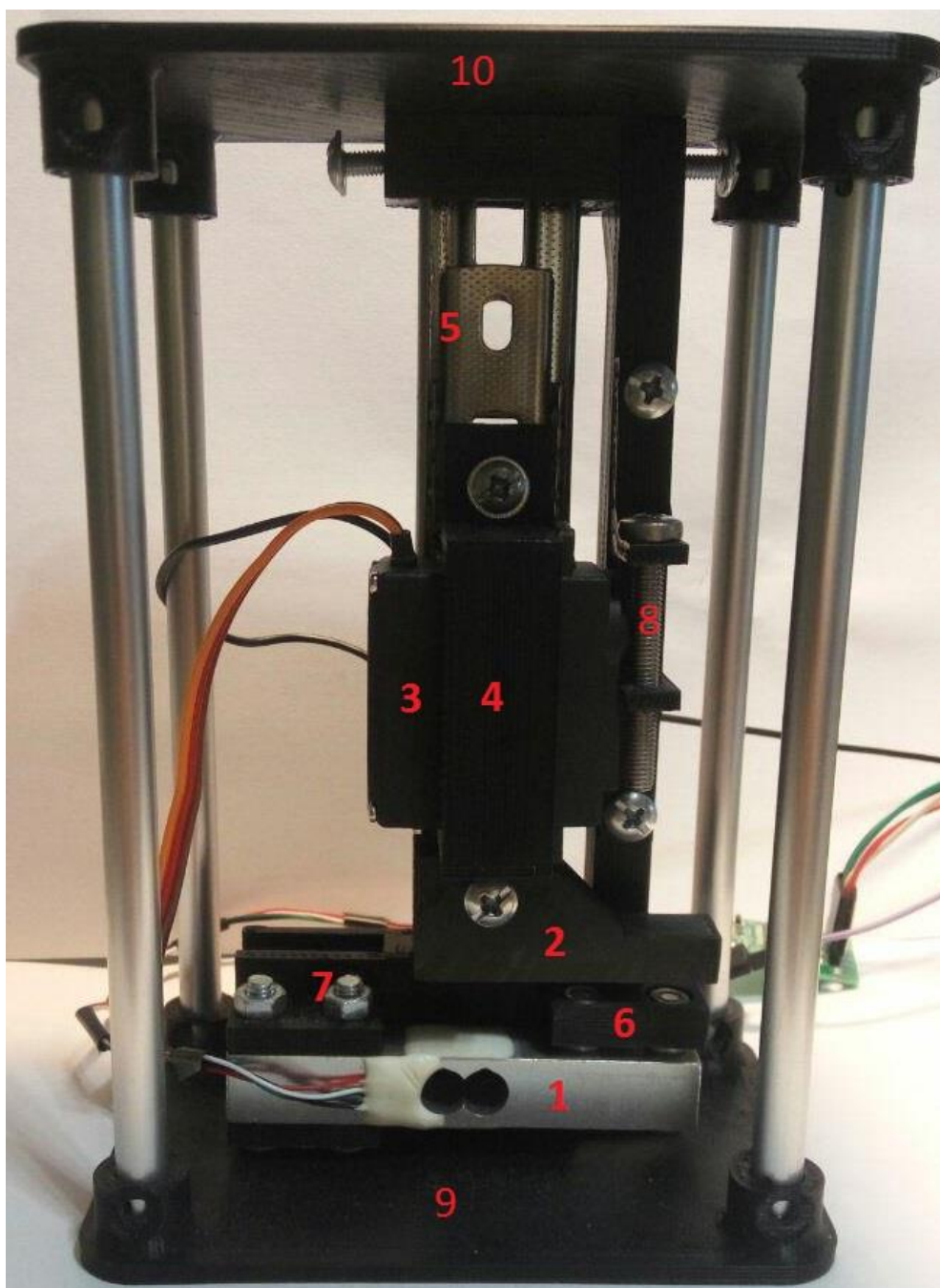


Рис.2.14– Установка для визначення механічних властивостей біологічних тканин

На рис.2.14: 1 – тензодатчик; 2 – індентор; 3 – сервопривід; 4 – кріплення сервоприводу до направляючої; 5 – направляюча; 6 – платформа для досліджуваного зразка; 7 – кріплення тензодатчика до направляючої; 8 – гвинт, по відношенню до якого рухається сервопривід, кріплення нерухомої частини до направляючої, 9 – нижня платформа, 10 – верхня платформа.

					БМ51.15.2705.1404.ПЗ	Лист
Змін.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		32

2.5 Програмне забезпечення для розробленої установки

Для нормальної роботи установки необхідно було розробити:

1. Програму для калібрування тензодатчика (додаток А) в середовищі Arduino IDE [24].

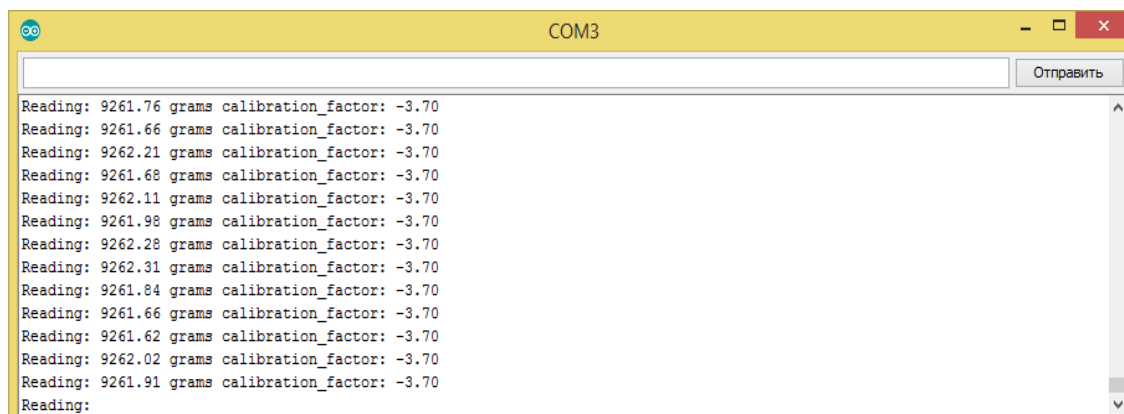


Рис.2.15 – Результат роботи програми для калібрування

Як видно на рисунку 2.15 на USB порт комп'ютера приходять значення зусилля і калібровочного фактору. В даному випадку показання в 9261 грам вважаються нулем, а будь-яка зміна цього значення буде свідчити про наявність сили, яка діє на датчик.

2. Програму для зняття показань з тензодатчика і керування сервоприводом (додаток Б) в середовищі Arduino IDE [24].

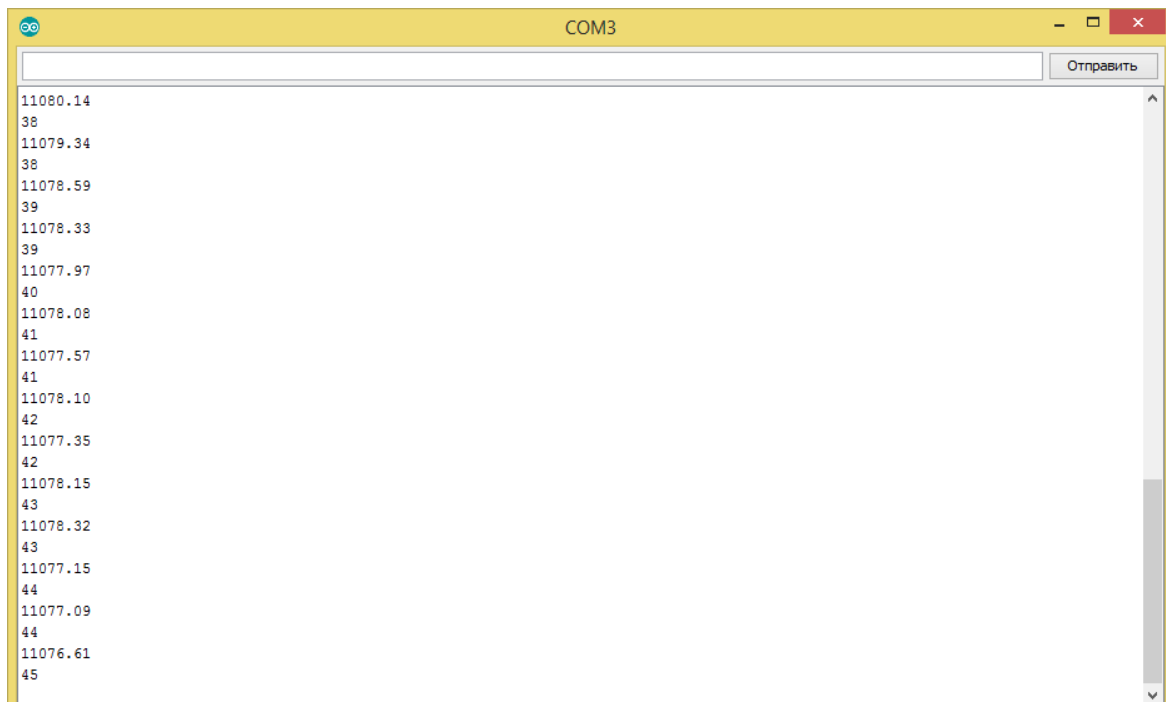


Рис.2.15 – Результат роботи програми для зняття показань з тензодатчика і керування сервоприводом

Як видно на рисунку 2.15 на USB порт комп'ютера приходять значення зусилля і поточного положення сервоприводу, що дає змогу судити про деформацію і побудувати діаграму деформації.

3. Програмний продукт (ПП) в середовищі LabView 2018 [25, 26, 27] для виведення даних на спеціально розроблений інтерфейс (рис 2.16) користувача, подальшої обробки і аналізу (дод. В, рис. В.1).

Даний ПП має втілювати в собі такі функції:

- отримувати з МК результати дослідження і виводити на графічний дисплей діаграму деформації;
- зберігати отримані дані в файл на комп'ютері;
- відображати індикатор збою роботи програми;
- додавати коментар дослідника до збережених файлів.

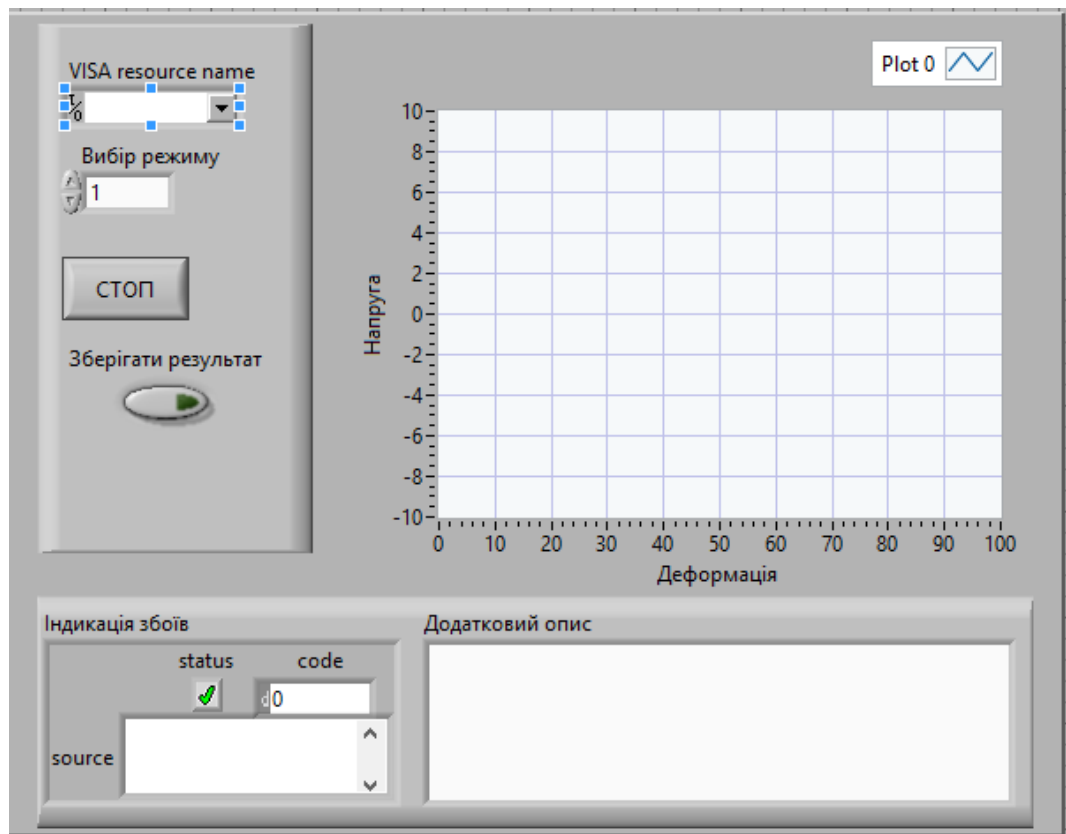


Рис.2.16 – Спеціально розроблений інтерфейс користувача

Даний ПП, в складі повної системи, може використовуватися у дослідницьких і навчальних закладах для:

- визначення фізико-механічних параметрів біологічних тканин;
- знаходження патологічних утворень в зразках тканин;
- в якості лабораторного стенду для навчання.

Оскільки, при проведенні дослідження оператор буде взаємодіяти лише з інтерфейсом розробленим в LabView, то варто виділити основні кроки при роботі з ним:

1. Запустити ПП, попередньо дізнавшись в середовищі Arduino IDE до якого COM-порту підключилась система.
2. В основному блоці інтерфейсу обрати чи зберігати результат роботи програми.
3. Залишити коментар до своєї роботи у відповідному вікні.
4. Натиснути кнопку «Стоп».

5. Обрати шлях збереження результатів, якщо в п.2 був обраний такий варіант.

Висновок до розділу 2

В ході практичної частини, на основі проаналізованих аналогів, було розроблено структурну схему установки для визначення мехнічних властивостей біоматеріалів. Також було розглянуто принцип роботи кожного елементу схеми окремо.

Було проведено моделювання процесу стиснення м'язової тканини і на основі отриманих даних обрано елементну базу установки. Також були розроблені деталі для 3D друку і подальшого збору робочого макету установки.

Було розроблено програмне забезпечення необхідне для роботи установки і інтерфейс користувача для комфортної взаємодії з нею. Розроблений інтерфейс виявився досить зручним і зрозумілим, що знижує необхідний рівень кваліфікації оператора.

					БМ51.15.2705.1404.ПЗ	Лист
Змін.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		36

РОЗДІЛ 3

ОХОРОНА ПРАЦІ

Дипломна робота виконувалась на базі Інституту електрозварювання імені Є.О. Патона НАН України.

В даній дипломній роботі за темою проектується прилад для дослідження механічних властивостей біоматеріалів, який є об'єктом дослідження у даному розділі. Даний прилад призначений для науково-дослідної, а також учбової роботи, тому буде розглянуто виявлення потенційно небезпечних і шкідливих виробничих факторів [28], що створюються його конструкцією та заходи їх усунення.

3.1 Характеристики об'єкту та його складові частини

3.1.1 Характеристики об'єкту

Основні технічні характеристики наведені в таблиці 3.1.

Таблиця 3.1 – Характеристики системи

№	Найменування приладу та функціональних блоків	Основні характеристики	К-сть	Позиція на рисунку
1	Мікроконтролер Arduino Nano	Напруга живлення 7...12 В Струм живлення 20мА Струм навантаження 0,5 А Температурний режим 0...85° С Клас виробу за способом захисту 1 Клас виробу за ступенем захисту ВF	1	1
2	Блок живлення RS-15-5	Вхідна напруга 88 - 264 В, 60 Гц Вихідна напруга 5 В Струм навантаження 3 А Температурний режим -20...70° С Захист від короткого замикання, перевантаження, перепаду температур, перепаду напруги живлення	1	2

					БМ51.15.2705.1404.ПЗ	Лист
Змін.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		37

Продовження таблиці 3.1

3	Сервопривід MG996R	Напруга живлення 4,8...7,2 В Струм живлення 0,5...2,5 А Пусковий момент 15 кг / см Кут повороту 120°	1	3
4	Тензодатчик	Матеріал алюміній Рекомендована напруга 5...10 В Максимальна вимірювана вага 20 кг	1	4
5	АЦП NH711	Робоча напруга 5 В Струм живлення 10 мА Температурний режим 0...85° С	1	5
6	Індентор	Матеріал АБС-пластик Міцність при стисненні 46...80 МПа Температура розм'якшення 90...105 °С Електрична міцність 12...15 МВ / м.	1	6

У наступному підпункті буде розглянута функціональна схема приладу.

3.1.2 Складові частини системи

На рис. 3.1. показана функціональна схема приладу для дослідження механічних властивостей біоматеріалів.

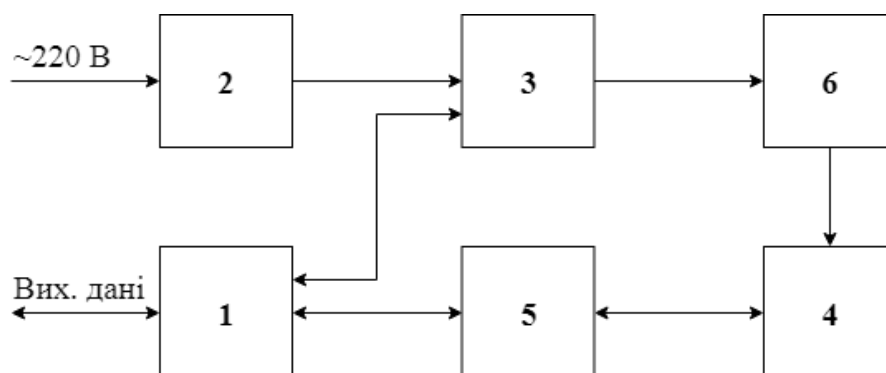


Рисунок 3.1 – Функціональна схема приладу для дослідження механічних властивостей біоматеріалів: 1 – мікроконтролер Arduino Nano, 2 –

блок живлення RS-15-5, 3 – сервопривід MG996R, 4 – тензодатчик, 5 – АЦП
HX711, 6 – індентор.

Оскільки, сервоприводу необхідне окреме джерело струму, було вирішено додати в схему блок живлення і тому значною мірою збільшився ризик при роботі з приладом. Все інше живиться від мікроконтролера.

3.1.3 Характер взаємодії в системі «людина-об'єкт»

Засоби отримання інформації про стан підключення приладу та роботу системи представлені в табл. 3.2.

Таблиця 3.2 – Взаємодія об'єкту в системі «людина-об'єкт»

№	Найменування функціонального блоку	Вид відображення інформації	К-сть
1	Мікроконтролер Arduino Nano	Індикатор підключення - світлодіод	1
2	Блок живлення RS-15-5	Індикатор підключення - світлодіод	1
3	Блок обробки вихідних даних	Індикатор коректної роботи приладу - монітор	1

Під час проектування приладу було вирішено максимально мінімізувати контакт дослідника з установкою, тож, за виключенням етапу розміщення досліджуваного зразка на платформі, система автоматизована. Це суттєво знижує ризик отримати ушкодження при роботі в приладом. Також наявність індикаторів роботи на ключових елементах приладу дозволить своєчасно відреагувати у випадку неправильної роботи.

3.2 Оцінка потенційних небезпечних факторів, що створюються конструкцією системи та заходи їх усунення

3.2.1 Механічна безпека

Механічні безпеки можуть створюватися фактором наявності в конструкції рухомих частин, а також частин, що обертаються, і можливістю руйнування окремих деталей і елементів обладнання.

У таблиці 3.3 представлені основні безпеки механічного характеру, що виникають в результаті експлуатації приладу. В таблиці 3.4 порівняні реальні та нормативні значення факторів безпеки [28, 29], а у таблиці 3.5 подані відповідні заходи.

Таблиця 3.3 – Основні безпеки механічного характеру

№	Найменування функціонального блоку	Джерело безпеки	Причини безпеки	Наслідки безпеки
1	Сервопривід MG996R	Механічний тиск	Підвищений тиск в механізмі	Пошкодження редуктора
			Заклинювання механізму	Перегрів двигуна, пошкодження системи керування
2	Індентор	Механічний тиск	Підвищений тиск в механізмі	Деформація конструкції

Таблиця 3.4 – Реальні та нормативні фактори безпеки

№	Фактор безпеки	Реальне значення	Нормативні значення
1	Тиск в системі	20-54 Мпа	80 Мпа

Таблиця 3.5 – Заходи із забезпечення охорони праці

№	Група номенклатурних заходів з ОП	Вид заходу	Критерій вибору
1	Технічні засоби	Обмеження тиску який може виникнути в системі програмно	Унеможливлення виникнення критичних значень тиску

Продовження таблиці 3.5

		Модульна структура приладу	Можливість легкої заміни частин приладу
		Недоступне розташування рухомих частин	Унеможливлення контакту зі рухомими частинами сторонніх об'єктів
2	Організаційні засоби	Інструкція з обслуговування приладу	Забезпечення підтримання приладу в належному стані
3	Режимні	Не передбачені	-
4	Експлуатаційні	Перевірка приладу на наявність механічних пошкоджень перед використанням	Забезпечення безпечної експлуатації приладу

Описані в таблиці 3.5 заходи суттєво підвищують механічну безпеку приладу.

3.2.2 Небезпека враження людини електричним струмом

Основним фактором небезпеки є наявність в схемі елементів під дією високої напруги. У таблиці 3.6 представлені основні небезпеки електричного характеру. В таблиці 3.7 порівнянні реальні та нормативні значення факторів небезпеки, а у таблиці 3.8 подані відповідні заходи для їх усунення або мінімізації ризику[28, 29].

Таблиця 3.6 - Основні небезпеки електричного характеру

№	Найменування функціонального блоку	Джерело небезпеки	Причини небезпеки	Наслідки небезпеки
1	Блок живлення RS-15-5	Змінний струм	Пошкодження ізоляції	Ураження електричним струмом
			Поява високої напруги в результаті в результаті поломки	Пошкодження плати мікроконтролера, АЦП та сервоприводу

Продовження таблиці 3.6

2	Блок живлення RS-15-5	Змінний струм	Неправильне підключення дротів	Пошкодження плати мікроконтролера, АЦП та сервоприводу
---	-----------------------	---------------	--------------------------------	--

Таблиця 3.7 – Реальні та нормативні фактори небезпеки

№	Фактор небезпеки	Реальне значення	Нормативні значення
1	Струм в системі	3 А	5-7 мА

Таблиця 3.8 – Заходи із забезпечення охорони праці

№	Група номенклатурних заходів з ОП	Вид заходу	Критерій вибору
1	Технічні засоби	Провід для живлення від мережі 220 В з площею зрізу 1 мм ² і товщиною ізоляції 0,7 мм	Унеможливлення контакту з напругою живлення і перегорання провідника
		Виділення дротів різними кольорами, зазначеними в інструкції	Зниження ризику неправильного підключення, полегшення діагностики і ремонту
		Корпус з АБС-пластику зі стінкою товщиною 3 мм	Ізолювання силових блоків
2	Організаційні засоби	Інструктаж з експлуатації	Забезпечення виконання правил експлуатації
3	Режимні	Діагностування та усунення несправностей тільки у відключеному стані	Унеможливлення контакту з частинами, що під напругою
4	Експлуатаційні	Перевірка на цілісність ізоляції та відповідність характеристик блоку живлення номінальним параметрам	Забезпечення безпечної експлуатації об'єкту
		Перевірка підключення блоків один до одного	Забезпечення безпечної експлуатації об'єкту

Описані в таблиці 3.8 заходи суттєво підвищують електричну безпечність приладу.

3.2.3 Небезпека пожежі

Займання може виникнути внаслідок перепаду напруги або нагрівання окремих деталей та їх пошкодження (табл.3.9). . В таблиці 3.10 порівняні наведена класифікація можливих в процесі використання приладу займань, а у таблиці 3.11 подані відповідні заходи для їх усунення або мінімізації ризику [28, 29].

Таблиця 3.9 - Основні небезпеки, пов'язані з виникненням пожежі

№	Найменування функціонального блоку	Джерело небезпеки	Причини небезпеки	Наслідки небезпеки
1	Блок живлення RS-15-5	Напруга та електричний струм	Стрибок напруги Коротке замикання	Виникнення пожежі
2	Сервопривід MG996R	Електричний струм	Перегрів двигуна Коротке замикання на платі керування	Виникнення пожежі

Таблиця 3.10 – Реальні та нормативні фактори небезпеки

№	Фактор небезпеки	Клас пожежної небезпеки
1	Стрибок напруги	А, Е
2	Нагрівання дротів	А, Е

Таблиця 3.11 – Заходи із забезпечення охорони праці

№	Група номенклатурних заходів з ОП	Вид заходу	Критерій вибору
1	Технічні засоби	Блок живлення RS-15-5	Захист від короткого замикання, перевантаження, перепаду температур, перепаду напруги живлення
		Світлодіод який сигналізує про неправильну роботу приладу	Своєчасне аварійне вимкнення
Змін.	Лист	№ докум.	Підпис
			Дата
БМ51.15.2705.1404.ПЗ			

Продовження таблиці 3.11

2	Організаційні засоби	Інструктаж з експлуатації та техніки безпеки	Зменшення ризику впливу людського фактору
3	Режимні	При перебоях в роботі будь-якого функціонального блоку та при пожежі відімкнути від джерела живлення	Запобігання значним пошкодженням приладу і перенесення займання на інші об'єкти

Описані в таблиці 3.11 заходи суттєво підвищують безпечність приладу.

3.3 Розробка «Інструкції по техніці безпеки при експлуатації спроектованого об'єкту»

1. Необхідно уважно прочитати дану інструкцію перед експлуатацією та подальшого використання.
2. Прилад призначений лише для дослідження механічних властивостей біологічних матеріалів при стисканні.
3. Перед включенням у мережу необхідно переконатись, що напруга мережі, співпадає з напругою живлення.
4. Забороняється:
 - контактувати з механізмом приладу під час роботи;
 - залишати прилад під час роботи без нагляду;
 - встановлювати досліджуваний зразок на платформу після ввімкнення;
 - користуватись приладом при наявних пошкодженнях або збоях в роботі;
 - самостійно ремонтувати прилад без необхідної кваліфікації;
 - використовувати прилад не за призначенням;

					БМ51.15.2705.1404.ПЗ	Лист
Змін.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		44

- користуватись приладом поза лабораторії.

5. Під час очищення приладу після дослідження дозволено використовувати лише ті засоби, що зазначені в інструкції по експлуатації.

6. Після роботи прилад має бути відімкнений від джерела живлення, запакований та покладений у безпечне місце на зберігання.

7. Повірка, калібрування та налаштування приладу для дослідження механічних властивостей біоматеріалів має здійснюватися представником компанії-розробника або сертифікованим інженером.

8. Під час роботи мають бути дотримані всі правила безпеки, зазначені у цьому розділі.

Висновок до розділу 3

У даному розділі було здійснено аналіз ключових небезпек та шкідливих виробничих факторів, які можуть створюватися конструкцією приладу, що проектується.

Були розглянуті засоби з усунення можливих небезпек та шкідливих виробничих факторів.

Ключовими факторам небезпеки в системі є тиск та електричний струм.

Було розроблено інструкція по безпечній експлуатації спроектованого приладу.

					БМ51.15.2705.1404.ПЗ	Лист
Змін.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		45

ВИСНОВКИ

У процесі виконання даної дипломної роботи були виконані поставлені задачі і досягнуто значних результатів.

Аналіз технічної літератури показав які параметри повинен досліджувати прилад, щоб на виході отримувати значення модуля Юнга та діаграму деформації з урахуванням особливостей біоматеріалів.

Пошук приладів, які б виконували аналогічну функцію дозволив визначити ключові блоки подібної системи і згідно цього було розроблено структурну схему.

Моделювання процесу стиснення м'язової тканини в програмному середовищі COMSOL дозволило визначити технічні вимоги до блоків приладу. В програмному середовищі SolidWorks були розроблені деталі необхідні збору робочого макету установки.

Було розроблено програмне забезпечення для калібрування тензодатчика, відповідно підвищення точності установки, та для повноцінної, автоматизованої роботи установки в програмному забезпеченні Arduino IDE, а також було розроблено ПП для обробки даних і відображення на дисплей користувача. Також було розроблено покрокову інструкцію по роботі з розробленим програмним продуктом. Розроблений ПП для системи випробування біоматеріалів на стиск, за рахунок власної простоти, виключає можливості серйозних порушень у експлуатації. Інтерфейс програми виявився досить зручним і зрозумілим, що знижує необхідний рівень кваліфікації оператора.

Розроблений прилад може тиснути на зразок з силою в 200 Н. Точність вимірювання деформації склала ± 0.05 мм, а вимірювання сили з якою індентор діє на зразок ± 0.4 Н, що є достатнім для проведення нескладних досліджень або роботи в якості навчального стенду. Розроблений прилад

					БМ51.15.2705.1404.ПЗ	Лист
Змін.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		46

суттєвою мірою відрізняється від розглянутого аналогу. Це стосується як структурної частини, так і спеціально розробленого програмного забезпечення.

У розділі охорони праці були наведені фактори ключових небезпек та засоби їх усунення або мінімізації ризику можливих небезпек та шкідливих виробничих факторів. Також було розроблено інструкцію по безпечній експлуатації спроектованого приладу.

					БМ51.15.2705.1404.ПЗ	Лист
Змін.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		47

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Біофізика і біомеханіка. /В. С. Антонюк, М.О. Бондаренко, В.А. Ващенко. – К.: НТУУ «КПІ», 2012. – 344 с.
2. Медична та біологічна фізика / Чалий О. В. – Вінниця: Нова книга, 2013. – 528 с.
3. Механические свойства тканей организма [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: https://zakon.today/terapiya_1014/mehanicheskie-svoystva-tkaney-91418.html. - Дата доступу: 16.04.2019
4. Дослідження в'язко-пружних властивостей біологічних тканин [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: <https://helpiks.org/5-85501.html>. - Дата доступу: 16.04.2019
5. Сила упругости. Закон Гука. [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: <https://physics.ru/courses/op25part1/content/chapter1/section/paragraph12/theory.html>. - Дата доступу: 16.04.2019
6. Модуль упругости (Модуль Юнга) [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: <http://chiefengineer.ru/tehnicheskie-discipliny/materialovedenie/modul-uprugosti-modul-yunga>. - Дата доступу: 16.04.2019
7. Коефіцієнт Пуассона [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: <https://formula.kr.ua/mechanichni-vlastivosti-rechovin/koeffitsient-puassona.html>. - Дата доступу: 16.04.2019
8. Хомик Н.І. Опір матеріалів і основи теорії пружності і пластичності / Хомик Н.І., Довбуш Т.А., Рубінець Н.А.. – Тернопіль, 2017. – 232 с.
9. In-vitro Strain and Modulus Measurements in Porcine Cervical Lymph Nodes. // The Open Biomedical Engineering Journal. – 2011. – С. 39–46.

					БМ51.15.2705.1404.ПЗ	Лист
Змін.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		48

10. Hayes WC, Herrmann G, Mockros LF, Keer L M. " Математичний аналіз для індентаційних тестів суглобового хряща". J. Biomech. 1972; 5 : 541–51.

11. Установки для дослідження на стиск Instron [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: <https://www.instron.ru/ru-ru/testing-solutions/by-test-type/compression>. - Дата доступу: 30.04.2019

12. Тензодатчики. Загальні відомості та принцип роботи. [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: <https://asvik.kiev.ua/ua/articles/5>. - Дата доступу: 30.04.2019

13. Датчик tuning-fork [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: http://www.vibra.kiev.ua/tuning_fork_sensor.html. - Дата доступу: 22.04.2019

14. Вікторова Н. В. Тензометричні системи з механічними підсилювачами деформації / Вікторова Н. В.. – Київ, 2018.

15. Устройство консольных тензодатчиков [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: <http://tenzorez.ru/support/ustroystvo-konsolnyih-tenzodatchikov/>. - Дата доступу: 1.05.2019

16. Типи тензодатчиків, сфера застосування тензодатчиків [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: <https://unipro.com.ua/ua/typy-tenzodatchyiv--sfera-zastosuvannya-tenzodatchyiv/>. - Дата доступу: 1.05.2019

17. Будова та принцип роботи сервоприводу [Електронний ресурс]. – 2017. – Режим доступу до ресурсу: <https://radiomodel.in.ua/budova-ta-printsip-roboti-servoprivodu>. - Дата доступу: 2.05.2019

18. Создание геометрических моделей и импорт из CAD в COMSOL Multiphysics® [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: <https://www.comsol.ru/video/building-geometry-models-and-import-from-cad-in-comsol-multiphysics-webinar-ru>. - Дата доступу: 2.05.2019

19. Моделирование линейных упругих материалов [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: <https://www.comsol.ru/blogs/modeling-linear-elastic-materials-how-difficult-can-it-be/>. - Дата доступу: 2.05.2019

20. Пронкевич С. А. Фізико-механічні властивості тканин людського організму при моделюванні в програмному комплексі ANSYS / Пронкевич С. А., Орловська А. А., Томило Е. В..

21. AISI 4340 Steel [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: <http://www.matweb.com/search/datasheet.aspx?matguid=84d58a977c274032a5d4d56a62712994&ckck=1>. - Дата доступу: 4.05.2019

22. SOLIDWORKS [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: <https://www.solidworks.com/ru>. - Дата доступу: 6.05.2019

23. Композитні матеріали [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: <https://polimerinfo.com/kompozitnye-materialy/abs-plastik-chto-eto-takoe.html>. - Дата доступу: 8.05.2019

24. ARDUINO WEB EDITOR [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: <https://www.arduino.cc/en/Main/Software>. - Дата доступу: 10.05.2019

25. National Instruments [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: <http://www.ni.com/ru-ru.html>. - Дата доступу: 11.05.2019

26. Програмування в NI LabVIEW. Технологія розробки віртуальних приладів: навч. посібник. / О. Г. Кисельова, А. В. Соломін. – К.: НТУУ «КПІ», 2014. – 276 с. – Бібліогр.: с. 272-273. – 100 пр.

27. Інструкція до експлуатації LabView [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: <http://training-labview.ru/templates/standard/opencore/scormUGLV/mobile/index.html>. - Дата доступу: 11.05.2019

28. Методичні вказівки до виконання розділу «Охорона праці та безпека в надзвичайних ситуаціях» в дипломних проектах для студентів Факультету біомедичної інженерії / Уклад.: Демчук Г.В., Качинська Н.В.,

					БМ51.15.2705.1404.ПЗ	Лист
Змін.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		50

Чікунова - Васільєва Н.П. К.: НТУУ «КПІ ІМЕНІ ІГОРЯ СІКОРСЬКОГО», - 38 с.

29. Г.В. Демчук. Конспект лекцій з дисциплін «Безпека життєдіяльності та цивільний захист», «Охорона праці та цивільний захист» (частина 2 ОП), для підготовки студентів денної (заочної) форми навчання факультетів біомедичної інженерії, електроніки та фізико математичного за ОКР «бакалавр».

					БМ51.15.2705.1404.ПЗ	Лист
Змін.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		51

ДОДАТОК А

ЛІСТИНГ ПРОГРАМИ ДЛЯ КАЛІБРУВАННЯ ТЕНЗОДАТЧИКА

```
#include "HX711.h"

const int LOADCELL_DOUT_PIN = 2;
const int LOADCELL_SCK_PIN = 3;

float calibration_factor = -3.7; // this calibration factor is adjusted
according to my load cell

float units;
float ounces;
HX711 scale;

void setup() {
  Serial.begin(9600);
  Serial.println("HX711 calibration sketch");
  Serial.println("Remove all weight from scale");
  Serial.println("After readings begin, place known weight on scale");
  Serial.println("Press + or a to increase calibration factor");
  Serial.println("Press - or z to decrease calibration factor");
  scale.set_scale();
  scale.tare(); //Reset the scale to 0
  long zero_factor = scale.read_average(); //Get a baseline reading
  Serial.print("Zero factor: "); //This can be used to remove the need to
tare the scale. Useful in permanent scale projects.
  Serial.println(zero_factor);
}

void loop() {
  scale.begin(LOADCELL_DOUT_PIN, LOADCELL_SCK_PIN);
  scale.set_scale(calibration_factor); //Adjust to this calibration factor
```

					БМ51.15.2705.1404.ПЗ	Лист
						52
Змін.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

```

Serial.print("Reading: ");
units = scale.get_units(), 10;
if (units < 0)
{
    units = 0.00;
}
ounces = units * 0.035274;
Serial.print(ounces);
Serial.print(" grams");
Serial.print(" calibration_factor: ");
Serial.print(calibration_factor);
Serial.println();
if(Serial.available())
{
    char temp = Serial.read();
    if(temp == '+' || temp == 'a')
        calibration_factor += 1;
    else if(temp == '-' || temp == 'z')
        calibration_factor -= 1;
}
}

```

ДОДАТОК Б
ЛІСТИНГ ПРОГРАМИ ДЛЯ ЗНЯТТЯ ПОКАЗАНЬ ТЕНЗОДАТЧИКА

```
#include <Servo.h>

Servo myservo;

int pos;

int Key;

int val;

#define A_MAX 1024

#define A_VREF 5

#define A_VMIN 0.5

#define A_VMAX 2.5

int realAngle(){

    return map(

        analogRead(A0),

        A_MAX * A_VMIN / A_VREF,

        A_MAX * A_VMAX / A_VREF,

        20, 100);

}

#include "HX711.h"

const int LOADCELL_DOUT_PIN = 2;

const int LOADCELL_SCK_PIN = 3;

float calibration_factor = -3.7;

float units;

float ounces;

HX711 scale;

void setup() {

    Serial.begin(9600);
```

					БМ51.15.2705.1404.ПЗ	Лист
Змін.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		54

```

myservo.attach(9);
scale.set_scale();
scale.tare();
scale.set_scale(calibration_factor);
}
void loop() {
val=Serial.read();
if(val<0) {
val=Key;
delay(1000);
}
if (val=='U')
{
Key='U';
scale.begin(LoadCell_DOUT_PIN, LoadCell_SCK_PIN);
for (pos = 20; pos <= 100; pos += 1) {
myservo.write(pos);
for(int i = 0; i < 5; i++) units += scale.get_units(), 5;
units / 5;
ounces = units * 0.035274;
Serial.print(ounces);
Serial.println();
Serial.print(realAngle());
Serial.println();
}
}
if (val=='D')
{
Key='D';

```

					БМ51.15.2705.1404.ПЗ	Лист
Змін.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		55

```

    for (pos = 100; pos >= 20; pos -= 1) {
        myservo.write(pos);
        for(int i = 0; i < 5; i++) units += scale.get_units(), 5;
        units / 5;
        ounces = units * 0.035274;
        Serial.print(ounces);
        Serial.println();
        Serial.print(realAngle());
        Serial.println();
    }
}

if(val=='S'){
    Key='S';
    delay(100);
}
}

```

					БМ51.15.2705.1404.ПЗ	Лист
Змін.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		56

ПРОГРАМНИЙ ПРОДУКТ, В ЯКОМУ РЕАЛІЗОВАНО ІНТЕРФЕЙС КОРИСТУВАЧА І ОБРОБКА ДАНИХ

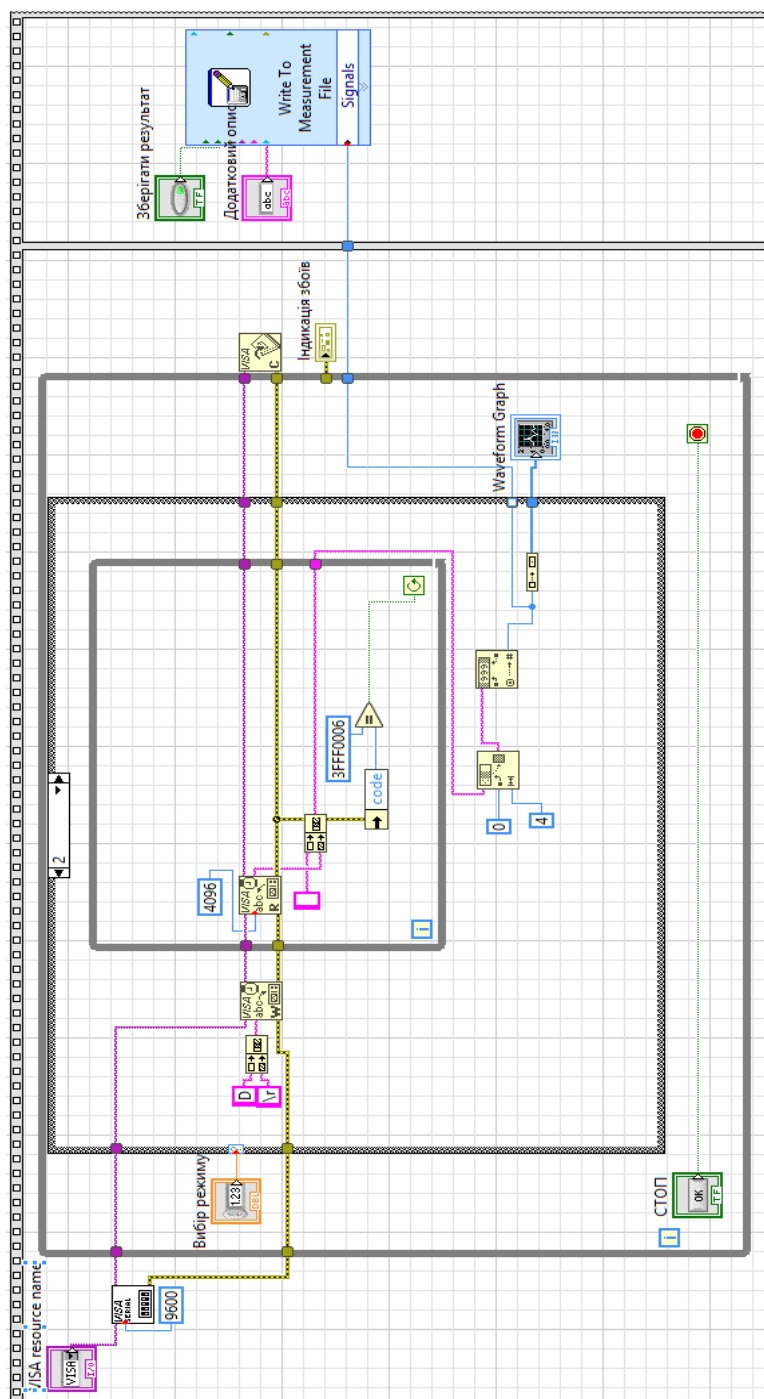


Рис. В.1 – Код програми в NI LabView, в якій реалізовано інтерфейс користувача і обробка даних